

요소결합을 통한 범용 파워트레인 성능해석프로그램 개발

서정민*(한양대 대학원 자동차공학과), 이승중(한양대 자동차공학과)

General Automotive Powertrain Design with the Combination of the Component

Jungmin. Seo(Mechanical. Eng. Dept. HYU), S. J. Yi(Mechanical Eng. Dept., HYU)

ABSTRACT

Powertrain simulation is important for the analysis of a vehicle performance. Automotive powertrain has been considered as the unified system and should be remodeled, whenever a powertrain system is changed. In this study, a new method is proposed for the synthetic modeling for the automotive powertrain. Components are separated from the powertrain system and constructed the matrix through dynamic relationships. The dynamic equation of the total powertrain system can be driven from the combination of each component. In order to combine each component, the superposition method is modified for the powertrain composition.

Key Words : 요소블럭(element block), 동력유동행렬(power flow matrix), 개별노드번호(local node number), 전체노드번호(global node number), 중첩법(superposition method), 작동력행렬(power effort matrix)

1. 서론

산업의 종류에 관계없이 비용과 효율이라는 것은 어느 분야에서나 마찬가지로 설계 및 생산등의 과정에 있어서 가장 중요한 요소로 작용한다. 과거 사람의 손에 의해 진행되었던 산업의 많은 분야가 자동화기기 또는 컴퓨터 해석프로그램으로 대체되어가고 있는 것도 이러한 필연적인 필요에 의한 결과로 볼 수 있을 것이다. 특히 자동차 산업에 있어서는 이러한 필요가 더욱 크다고 말할 수 있다. 특히 자동차 설계에 있어서 동적특성을 좌우하는 엔진과 변속기, 타이어드의 동력전달요소들은 개발과정에서 큰 비중을 차지하며 많은 시행착오를 통해 시간 및 비용의 소비가 큰 만큼 그 어떠한 부분보다도 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션툴들의 중요성이 더욱 크다고 말할 수 있다.

본 연구실에서도 이러한 필요성에 착안하여 여러해동안 동력전달요소, 특히 자동변속기 시뮬레이션프로그램개발에 대한 많은 연구가 진행되어왔다 [1]. 그러나 기존에 개발되어왔던 동적해석프로그램들은 이미 생산되었거나 검증된 동력요소들의 성능해석에 한정되어있어, 앞서말한 시뮬레이션툴들의 근

본적인 필요성의 극히 적은 부분만을 감당하고 있다. 이에 본 연구는 변속기 자체를 프로그램 상에서 설계하고, 설계된 변속기의 운동방정식을 수치적으로 유도해 내도록하는 프로그램을 개발하는 것을 목표로 하였다. 무엇보다도 범용적인 설계 프로그램 개발에 가장 중요한 목적을 두었다. 이러한 범용성을 확보하기 위해서 변속기를 고정된 시스템이 되지 않도록, 변속기를 기본적인 구성 요소로 분류하여 각 요소들을 개별적으로 정의하여 전체 변속기 시스템을 이러한 요소의 결합으로 구성할 수 있도록 하였다. 이와 같이 구성된 변속기 시스템의 단 수를 정하고 각 단에서의 클러치 및 브레이크의 체결상태의 관한 데이터를 입력함으로써 각 단의 운동방정식을 유도하는 프로그램 알고리즘을 구현하였다.

2. 요소 모델링

2.1 엔진 및 토그컨버터 모델링

엔진 및 토크 컨버터의 동적성능은 전체 차량계의 거동에 큰 영향을 주는 요소이다. 따라서 이 요소들에 대한 보다 정확한 모델링은 자동변속기의

성능개선 즉, 최적변속시점, 랑업시점 결정 및 클러치 압력제어의 최적화에 반드시 필요하다[2]. 그러나 본 연구의 목적은 변속기 설계에 있으므로, 엔진과 토크컨버터는 각각의 성능곡선을 이용한 함수블럭(function block)으로 설정한다. 엔진과 토크 컨버터의 동적특성은 식 (1)과 (2)의 함수로 정의할 수 있다.

$$T_E = T(\omega_E, \alpha_E) \quad (1)$$

$$T_P = C_F \omega_E^2 \quad T_T = R_T T_P \quad (2)$$

2.2 변속기 요소 모델링

각 요소 모델링은 본드그래프의 개념을 이용하여 에너지저장요소(energy storage element), 변환요소(transformer element), 연결요소(junction element)로 각 요소를 표현할 수 있다[3]. 변속기는 축요소, 클러치요소, 브레이크요소, 유성기어요소, 기어요소, 관성요소로 구분할 수 있고, 이 요소들의 조합에 의해 전체변속기시스템을 구성할 수 있다.

2.2.1 축요소

축요소는 축으로 입력된 동력을 축에 연결된 요소로 동력을 전달하는 역할을 한다. 축 자체가 회전하므로 회전에너지저장을 저장하며, 축상에 각각의 요소를 연결하므로 일종의 중계기 역할을 한다. 따라서 축요소는 관성값, 연결 노드수의 2 가지 상태값(property)을 가지게 된다. 축요소에 대한 블럭은 Fig.1 과 같이 정의할 수 있다.

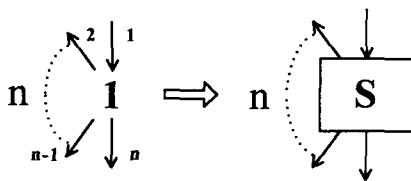


Fig. 1 Block of the shaft element

2.2.2 클러치요소

클러치요소는 시스템의 동력흐름을 제어하는 요소이다. 클러치의 체결여부에 따라 전체변속비가 결정된다. 클러치요소의 블럭은 Fig.2 과 같이 정의할 수 있다.

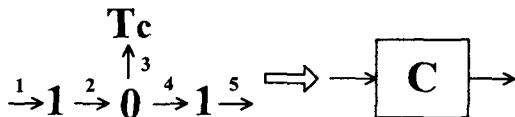


Fig. 2 Block of the clutch element

Fig.2 의 블럭에서 0 정선(junction)에 연결되어 있는 3 개의 노드에서 1 정선(junction)과 연결된 두 개의 노드는 선도의 두 영역을 연결하여 동력을 전달하게 된다. Tc 는 클러치용량 값을 의미하며 변속시의 과도상태에서 고려되게 된다.

2.2.3 브레이크요소

브레이크요소는 시스템의 동력흐름을 제한하는 요소이다. 정상상태로만 한정해서 브레이크의 거동을 고려해보면, 브레이크가 작동할 경우 노드의 동력유동(power flow)은 0 의 값을 갖게 된다. 브레이크는 기본적으로 1 정선(junction)에 연결되는 동력원(source effort)로 볼 수 있으므로 함께 연결된 1 정선(junction)의 모든 요소의 동력유동(power flow) 역시 0 의 값을 가져야 하고 이것은 이 영역의 동력유동(power flow)이 0 정선(junction)과 연결되는 부분에게까지 영향을 미쳐 결국 모든 요소가 실제 동력전달의 영향을 주지 못하여 전체 선도에서 제외된다. 브레이크가 작동하지 않을 경우에는 브레이크 노드의 동력(effort)이 0 값을 가지게 됨으로써 단지 브레이크의 요소만 선도에서 제외된다. 브레이크요소의 블럭은 Fig.3 로 정의할 수 있다.

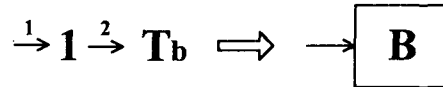


Fig. 3 Block of the brake element

2.2.4 유성기어 요소

일반적으로 AT 에 사용되는 유성기어는 라비노 방식, 심프슨방식등의 기어들을 조합하여 사용한다. 각 기어방식은 특별히 동력학적으로는 차이가 없다. 그러나 실제 변속기에서는 변속기의 동적성능 못지않게 윤활과 냉각이 중요한 고려사항이 된다. 이러한 요인으로 기어의 방식 및 변속기내부의 구성이 결정된다. 유성기어요소는 Fig.4 로 정의할 수 있다.

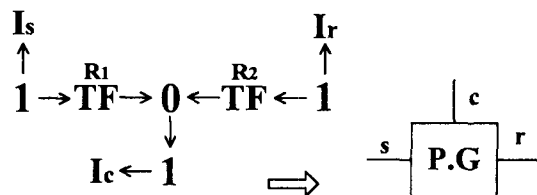


Fig. 4 Block of the planetary gear element

2.2.5 기어 요소

변속기의 내부에는 두개의 축을 연결하기 위해서, 또는 후진변속을 위해서 등의 이유로 유성기어와 별도로 기어요소가 필요하게 된다. 이런 기어요

소는 단순히 변환요소(transformer)로 존재한다. 또한 회전체의 일부이므로 별도의 관성값을 가지게 된다. 이러한 특징을 고려한 기어요소들의 블록은 Fig.5 와 같이 정의할 수 있다.

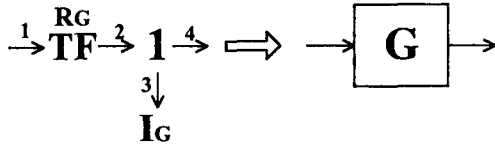


Fig. 5 Block of the gear element

2.2.6 관성 요소

변속기 내부에 동력요소를 지지하기 위한 요소들은 동력전달 과정에는 영향을 주지않으나 함께 회전하게 되므로 회전에너지를 저장하게 된다. 관성 요소의 블록은 Fig.6 으로 정의한다.

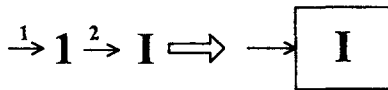


Fig. 6 Block of the inertia element

3. 전체 시스템 모델링

3.1 요소 결합 방법

요소별로 정의된 행렬은 요소의 개별노드(local node)를 기준으로 설정된 것이며 이러한 개별노드 번호(local node number)는 고정된 값으로 주어진다. 각 요소 블록을 연결하여 전체 시스템을 구성하면 각 노드에는 개별노드번호(local number)와 함께 전체노드번호(global number)가 설정되어진다[4].

$$\begin{bmatrix} K_1^e & K_2^e \\ K_3^e & K_4^e \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{f}_1^e \\ \bar{f}_2^e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{R}_1^e \\ \bar{R}_2^e \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} K_1^{e+1} & K_2^{e+1} \\ K_3^{e+1} & K_4^{e+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{f}_1^{e+1} \\ \bar{f}_2^{e+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{R}_1^{e+1} \\ \bar{R}_2^{e+1} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$\bar{f}_1^e = f_1, \quad \bar{f}_2^e = \bar{f}_1^{e+1} = f_2, \quad \bar{f}_2^{e+1} = f_3$$

where

$$\bar{f}^e : \text{local flow} \quad \bar{R}^e : \text{relation of flow}$$

중첩법(superposition method)을 적용하여 요소의 전체노드번호(global number)를 기준으로 하나

의 행렬로 정리하면, 시스템 전체의 동력유동(power flow)에 대한 행렬을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} K_1^e & K_2^e & 0 \\ K_3^e & K_4^{e+1} & K_2^{e+1} \\ 0 & K_3^{e+1} & K_4^{e+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{Bmatrix}$$

일반적으로 중첩법(superposition method)에서 중첩되는 부분의 행렬요소값은 합으로 표현된다. 그러나 본 연구의 행렬의 우변은 합으로 연산해야하는 물리적인 값이 아닌 노드간의 관계를 의미하는 수치값이다. 따라서 행렬요소를 합하는 것이 아닌 대체하는것으로 연결방법을 설정한다.

3.2 프로그램 알고리즘

앞서 말한 것과 같은 일련의 해석방법을 프로그램 알고리즘으로 구현하였다. 프로그램은 크게 다음과 같은 5 단계 과정을 거쳐서 각 단별 운동방정식을 유도한다.

- step1. 동력흐름의 시작점을 정한다.
- step2. 각 단별 클러치 및 브레이크의 체결상태에 따라 선행 처리과정을 처리한다.
- step3. 유동행렬(flow matrix)을 구성한다. 구성하는 과정에서 각 노드별 전체노드번호(global node number)를 부여한다.
- step4. 동력행렬(effort matrix)을 구성한다.
- step5. 각 행렬의 역행렬을 구함으로써 운동방정식을 유도한다.

기본적으로 각 단의 클러치와 브레이크의 처리방법이 정상상태일 때와 과도상태일 때가 서로 다르기 때문에 해석 알고리즘은 정상상태와 과도상태를 구분하여야 한다. Fig.7 과 같은 2 개의 단순유성기어(2 simple planetary)를 사용한 변속기 시스템을 참조하여 1 단의 정상상태 해석 알고리즘을 적용해 보도록 한다.

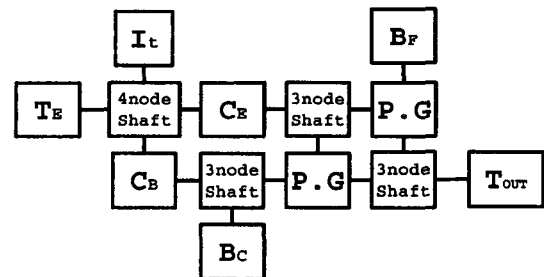


Fig. 7 Total System of 2 Simple Planetary Gears

step1 에 의해 T_E 의 블록을 시작점으로 정한다. 1 단에서의 클러치와 브레이크의 체결 상태표는 Table 1 과 같다.

Table 1. 변속 1 단의 체결 상태

C_B	C_E	B_C	B_F
Locked	Free	Free	Locked

step2 의 과정을 통해 전체 시스템은 Fig.8 과 같이 재구성된다.

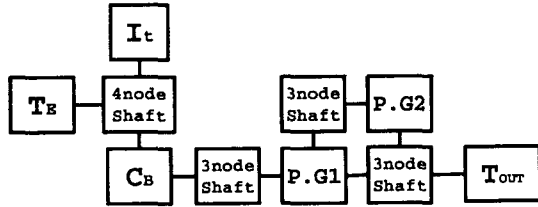


Fig. 8 Reconstructed System

유성기어 블록 P.G2 는 3 개의 노드중 선기어(Sun gear)의 노드가 체결된 상태이다. 이 블록은 전체 행렬을 구성하는 과정에서 이러한 상태를 반영하여 구성하도록 하였다. Step3 과정에서 유동행렬(flow matrix)를 구성하는 과정의 순서도(flow chart)는 Fig.9 와 같다.

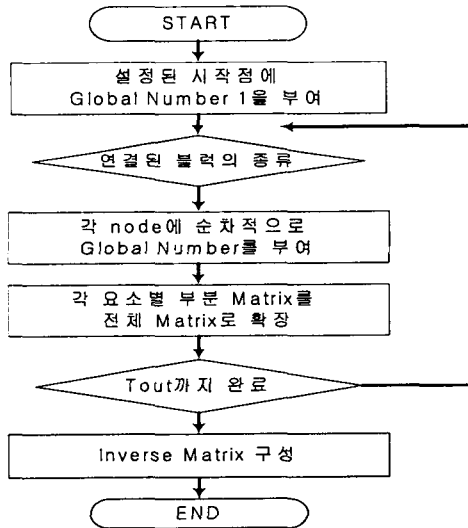


Fig. 9 Flow Chart to Construct Flow Matrix

연결된 블록의 종류에 따라 각 요소별 행렬 구성에 관한 규칙은 개별적으로 설정하였다. 이렇게 설정된 규칙은 요소의 각 노드가 어떠한 상태로 연결되었는가에 의해 조건적으로 선택되어 행렬을 구성하게 된다.

동력행렬(effort matrix)의 구성 알고리즘도 Fig.9 의 순서도와 유사하다. 다만, 각 요소별 행렬구성 과정에 있어서만 앞서 언급한 바와 같은 차이점을 가지고 있다. 이와 같은 방법으로 유동행렬과 동력행렬

을 구성하고 각각의 역행렬을 구성한다. 이 역행렬을 조합하여 Tout 블록을 기준으로 하여 행렬곱을 취해 조합하여 운동방정식을 유도한다.

과도상태의 운동방정식을 유도하는 과정은 앞에서 언급한대로 하나의 동력입력(Power Input)이 존재하는 것이 아니라 각각의 클러치 및 브레이크의 요소들을 동력입력으로 설정하여 요소행렬을 구성한다.

4. 결론

2 심플방식의 변속기에 대한 검증에서 전체 시스템을 해석하여 구성한 운동방정식과 본 연구에서 정의한 행렬구성을 통해 유도한 운동방정식을 비교해 본 결과 정상상태에서 각 단에 다른 운동방정식을 유도할 수 있음을 확인하였다.

후 기

2 심플방식의 변속기에 대해 본 연구의 결과를 검증하였다. 각 요소들의 결합에 대한 규칙들을 설정하는 과정에서 세가지 즉 단순유성기어방식, 라비노방식, 심프슨방식을 사용한 변속기의 운동방정식유도과정을 기반으로 하여 구성하였다. 따라서 다른 방식의 변속 시스템의 설계에 대해 이 규칙만으로 해석이 가능하다고 단언하는대는 무리가 있다 보다 다양한 경우에 대한 규칙의 적용도를 검증하고, 상황에 따라 구성 규칙을 보완해야하여 보다 신뢰성과 정확성을 확보해야할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김인찬, 이승중, "라비노 방식 유성기어를 채택한 자동 변속기의 변속과도특성 해석" 한국 자동차 공학회 96년도 추계학술대회, 1996.
2. 박영일, 박찬일, "변속기 최적주행 알고리즘 개발을 위한 자동변속기의 동적특성 해석", 제 3 회 G7 기술 논문집, p248-251, 1995.
3. Dean C. Karnopp, Donald L. Margolis, "System Dynamics 3rd edition".
4. Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method 3rd edition", p35-37.
5. 남경표, 이승중, "2Simple Planetary Gears 를 장착한 차량의 성능해석", 한국 기계학회 논문집 제 21 권 제 11 호, 1997.